

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-284765

(43)Date of publication of application : 23.10.1998

(51)Int.Cl. H01L 43/00  
H01F 10/14

(21)Application number : 09-102745

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 04.04.1997

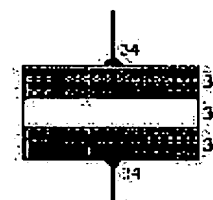
(72)Inventor : FUJIMOTO TATSUO

## (54) VOLTAGE DRIVE TYPE SPIN SWITCH

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize integration or miniaturization of a device, by constituting a three-layered structure of a ferromagnetic layer, a nonmagnetic metallic layer and a ferromagnetic layer, and forming electrode parts for applying a voltage to both of the ferromagnetic layers.

**SOLUTION:** A voltage drive type spin switch is provided with electrodes 34 for applying an external voltage to ferromagnetic layers 31 and 33, in a three-layered film having three-layered structure 31, 32, 33 composed of ferromagnetic layer/nonmagnetic metallic layer/ferromagnetic layer. The electrode 34 may be formed as a thin film on the ferromagnetic layer surface. Magnetization of one ferromagnetic layer 31 or 33 is fixed, and magnetization of only the other ferromagnetic layer 33 or 31 is switched. For this purpose, an antiferromagnetic layer, composed of FeMn or NiO is made to be adjacent to the one ferromagnetic layer 31 or 33, and the magnetization of the ferromagnetic layers 31, 33 may be subjected to pinning. In this case, the effect that antiferromagnetic substance executes intensive pinning of magnetization of the adjacent ferromagnetic layers 31, 33 is used. Thereby integration or miniaturization of a device can be realized.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch characterized by preparing the polar zone for having three layer systems which consist of a ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, and a ferromagnetic layer, and impressing an electrical potential difference to said both ferromagnetic layers.

[Claim 2] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch according to claim 1 characterized by for the thickness of a non-magnetic layer being 5-1500A, and the thickness of a ferromagnetic layer being 5-1000A.

[Claim 3] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch according to claim 1 characterized by for the thickness of a non-magnetic layer being 5-300A, and the thickness of a ferromagnetic layer being 5-100A.

[Claim 4] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch according to claim 1 characterized by for the thickness of a non-magnetic layer being 300-1500A, and the thickness of a ferromagnetic layer being 100-1000A.

[Claim 5] An electrical-potential-difference actuation mold spin switch given in any 1 term of claims 2, 3, and 4 characterized by for the ferromagnetic layer membrane having consisted of iron, cobalt, nickel, or those ferromagnetic metals that consist of a kind at least, and the non-magnetic layer film consisting of copper, gold, silver, or those non-magnetic metal that consists of a kind at least.

[Claim 6] An electrical-potential-difference actuation mold spin switch given in any 1 term of claims 2-4 characterized by for the ferromagnetic layer membrane having consisted of magnetic semiconductors written mainly by EuO, and the non-magnetic layer film consisting of copper, gold, silver, or those non-magnetic metal that consists of a kind at least. [ a ferromagnetic layer membrane ]

[Claim 7] An electrical-potential-difference actuation mold spin switch given in any 1 term of claims 2-4 characterized by for a ferromagnetic layer membrane consisting of iron, cobalt, nickel, or those ferromagnetic metals that consist of a kind at least, and the non-magnetic layer film consisting of an electrical conductivity metal of nonmagnetic transition metals other than copper, gold, and silver which consists of kinds at least.

[Claim 8] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch characterized by preparing the polar zone for having four layer systems of a ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, a ferromagnetic layer, and an antiferromagnetism layer, and impressing an electrical potential difference to said both ferromagnetic layers.

[Claim 9] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch according to claim 8 characterized by an antiferromagnetism layer membrane consisting of either FeMn or NiO.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention applies a magnetic conduction phenomenon peculiar to a ferromagnetic metal, and relates to the electrical-potential-difference actuation mold spin switch which controls the magnetization array in a ferromagnetic multilayer directly by [ by external magnetic field impression ] impressing an electrical potential difference in the direction of thickness \*\*.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the metal ferromagnetism multilayer which has the structure where the ferromagnetic metal layer was separated by the non-magnetic metal layer, giant magneto-resistance (it is hereafter written as the GMR effectiveness) was discovered by French Baibich and others in 1989. When changing compulsorily the relative array of magnetization of the adjoining ferromagnetic layer from anti-parallel to a parallel array by impression of an external magnetic field etc., the phenomenon in which the electric resistance of a metal ferromagnetism multilayer decreases remarkably is called GMR effectiveness. It is reported that the rate of change exceeds the single or more figures property of the permalloy (FeNi system alloy) which is the conventional material depending on the structure of a multilayer and the class of film configuration metallic element. Since it is detectable by high sensitivity by making feeble change of a magnetic field into a voltage output by applying the GMR effectiveness, various applications have been presented since the discovery and it is well-known data to be put in practical use in recent years as magnetic-head material for next-generation magnetic disk drives (HDD). About the detail of the physical mechanism of the GMR effectiveness, also at an institute, it is still the way of an argument, and has come to be solved thoroughly. In this time, I am qualitatively understood as a phenomenon in which the conduction property peculiar to a ferromagnetic metal was involved closely in which electric conduction depends in the spin direction of conduction electron.

[0003] The attempt which is going to realize various kinds of magnetic solid state devices using the GMR effectiveness or the spin dependence electric conduction property considered to be the cause of generating besides the application to various magnetic field sensors, such as the magnetic head, is performed actively in recent years. As the example of representation, GMR memory (JP,6-243673,A), a spin transistor (for example, Magnetics Society of Japan vol. 19 (1995) p.684), etc. are raised. It explains briefly [ below ] about the outline.

[0004] First, the schematic diagram of the memory proposed by drawing 1 R> 1 by inlets is shown about the former GMR memory (Jpn.J.Appl.Phys., 24(1995) p.L415). A part for a record attaching part is fundamentally constituted by 3 layer system film (14, 15, and 16 in drawing 1 ) of "a ferromagnetic layer / non-magnetic layer / ferromagnetic layer", and the ferromagnetic metal of a different kind with which coercive force differs is used for both the ferromagnetism layer. Although it is an approach to write in information first, it is carried out by passing the current which may generate the induction magnetic field of the magnitude which exceeds the coercive force of both the ferromagnetism layer on the WORD line 11. Specifically, in the case of drawing 1 , it is carried out using the annular induction magnetic field which generates a current around a sink and a WORD line vertical facing up or downward to space by magnetizing magnetization of a high coercive force layer to the right sense or the left sense. The content of recording information is defined by the magnetization direction of a high coercive force layer, for example, "1" and the left sense are set to "0" by the right sense. On the other hand, the GMR effectiveness is used for read-out of recording information. That is, although a sink and the maximum amplitude value of the alternating current are less than the coercive force of a high coercive force

ferromagnetism layer about alternating current, it is made for the induction magnetic field exceeding the coercive force of a low coercive force ferromagnetism layer to occur on a WORD line (11). In this case, in order that only magnetization of a low coercive force layer may follow and be reversed to an induction magnetic field, the output voltage from which a phase differs 180 degrees is obtained by the content of record, i.e., the magnetization direction of a high coercive force layer, through the sense line 12 prepared separately. The content of record is distinguished by the phase contrast of this output voltage.

[0005] Next, the schematic diagram is shown about the spin transistor proposed by drawing 2 by M. Johnson (Science, 260(1993) p.320). Like the above-mentioned GMR memory, it is three layer membranes of "a ferromagnetic layer / non-magnetic layer / ferromagnetic layer" (21, 22, and 23 in drawing 2 ), the wiring terminal is separately connected with each class, and basic structure has taken the same wiring structure as a semi-conductor bipolar transistor. Generally, inside the ferromagnetic, although extent changes with matter, as for conduction electron, it is known that the direction of the spin has gathered in the specific direction. Such a phenomenon is called spin polarization, for example, in the case of iron, whenever [ spin polarization ] reaches to about 44%, and it is shown clearly experimentally that the direction of the polarization is parallel to Majority spin (P. M. Tedrow et al., Physical Review B7(1973) p.7099).

[0006] If an electrical potential difference is now impressed along the direction of thickness of three layer membranes, the electronic group to which the direction of spin inside a ferromagnetic layer (emitter; 21 in drawing 2 ) was mostly equal will invade into a non-magnetic layer (base; 22). That is, a spin polarization current will be poured in from an emitter to the base. When magnetization of the ferromagnetic layer (collector; 23) of another side is parallel to magnetization of an emitter, a spin polarization current can be invaded into a collector here, therefore a current passes through the inside of 3 layer membranes from an emitter to a collector (24->26). However, in arranging to anti-parallel, it becomes difficult for an electron to invade into a collector, and for this reason, a current flows into a base terminal (24->25). That is, the so-called transistor effectiveness that the direction of a current changes is discovered by changing the relative array of magnetization. Since this transistor by which all components are constituted from a metal can use a merit peculiar to the metal of \*\* -- that electron density is high about 4 figures compared with a semi-conductor, and the heat conductivity is large -- possibility that it can integrate more highly than the existing semiconductor device is pointed out, and it has become one of the factors it is expected greatly that spin transistors are.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the above various magnetic solid state devices, it is clear that the so-called technical magnetization actuation of changing the magnetization array of the adjoining ferromagnetic layer for example, from anti-parallel to a parallel array serves as a base element of device actuation. By the way, it is necessary to follow on high-performance-izing and a miniaturization of electronic equipment, and to also micrify and integrate these devices. In such a case, the minute multilayer of a large number which micro processing also of the multilayer body which constitutes a magnetic solid state device with a natural thing was carried out, for example, were made detailed by submicron size extent will be tidily arranged in in a single device, and will need to establish the approach of controlling selectively the magnetization condition of the specific minute multilayer in a device to accuracy.

[0008] In the former, technical magnetization actuation was fundamentally performed by impressing an external magnetic field. For example, by the case of the above-mentioned GMR memory, the magnetization condition of a multilayer was controlled by using the induction magnetic field which generates a predetermined current to a sink and its perimeter in the WORD line spread around in all directions in the device. However, originally, since space divergence is strong, generally it is difficult the magnetic field to make it converge with a sufficient precision all over minute space, and it may cause malfunction of a device, such as changing the magnetization condition of an adjoining minute multilayer. Such a problem is applied also about the case of a spin transistor. That is, it is very difficult like the above to control selectively by impression of an external magnetic field the minute spin transistor in the component made detailed, although it is necessary to change the magnetization condition of a ferromagnetic layer to a component in order to carry out induction of the transistor effectiveness. That is, in a magnetic solid state device, when realizing integration of a device, there is a limitation in magnetization control by external magnetic field impression.

[0009] Therefore, in order to realize advanced integration of a magnetic solid state device, without spoiling the dependability of a device, a new approach by the external magnetic field impression which operates technical

magnetization of a multilayer was desired.

[0010] In view of conquering the trouble indicated in the above-mentioned conventional example, it succeeds in this invention, and aims at offering the electrical-potential-difference actuation mold spin switch based on the new principle which is not in the former which controls technical magnetization actuation of a multilayer by impressing an electrical potential difference in the direction of thickness.

[0011]

[Means for Solving the Problem] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention has three layer systems which consist of a ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, and a ferromagnetic layer, and the polar zone for impressing an electrical potential difference to this both ferromagnetism layer is prepared, and it is constituted. In addition, the structure of said polar zone may not be specified, for example, may be a thin film configuration.

[0012] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, the thickness of a non-magnetic layer is 5-1500Å, and the thickness of a ferromagnetic layer is 5-1000Å.

[0013] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, the thickness of a non-magnetic layer is 5-300Å, and the thickness of a ferromagnetic layer is 5-100Å.

[0014] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, the thickness of a non-magnetic layer is 300-1500Å, and the thickness of a ferromagnetic layer is 100-1000Å.

[0015] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, a ferromagnetic layer membrane consists of iron, cobalt, nickel, or those ferromagnetic metals that consist of a kind at least, and the non-magnetic layer film consists of copper, gold, silver, or those non-magnetic metal that consists of a kind at least.

[0016] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, a ferromagnetic layer membrane consists of magnetic semiconductors written mainly by EuO, and the non-magnetic layer film consists of copper, gold, silver, or those non-magnetic metal that consists of a kind at least. [ a ferromagnetic layer membrane ]

[0017] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, a ferromagnetic layer membrane consists of iron, cobalt, nickel, or those ferromagnetic metals that consist of a kind at least, and the non-magnetic layer film consists of an electrical conductivity metal of nonmagnetic transition metals other than copper, gold, and silver which consists of kinds at least.

[0018] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention has four layer systems of a ferromagnetic layer, a non-magnetic metal layer, a ferromagnetic layer, and an antiferromagnetism layer, and the polar zone for impressing an electrical potential difference to said both ferromagnetic layers is prepared, and it is constituted.

[0019] The electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention sets like 1 voice, and an antiferromagnetism layer membrane consists of either FeMn or NiO.

[0020] this invention persons found out that the strength of the switched connection between layers which works between both ferromagnetism layers was controllable by impressing predetermined foreign voltage between these both ferromagnetism layers in the above-mentioned multilayer-structure film. By adjusting the thickness of a non-magnetic layer especially, the sign of the switched connection between layers is reversed, and the magnetization condition of three layer membranes is before and after electrical-potential-difference impression, and it is reversed, namely, anti-parallel array or change of the reverse can be realized from a parallel array. Thus, although the component from which the relative magnetization array in a multilayer changes is generally called a spin switch according to an external operation of \*\*, such as electrical-potential-difference impression, a spin switch will be defined as a wide sense also including the strength of the switched connection between layers which works between these both ferromagnetism layers here changing. Although impression of an external magnetic field had mainly realized flux reversal in the multilayer in the former, the completely new electrical-potential-difference actuation mold spin switch to drive was realized by impression of foreign voltage by this invention. By using such a spin switch, it becomes possible in various magnetic solid state devices or the various devices using a ferromagnetic to realize integration to altitude, without it becoming unnecessary to perform external magnetic field impression for controlling the magnetization condition of the magnetic substance, and spoiling the dependability of device actuation.

[0021]

[Embodiment of the Invention] The requirements for a configuration of the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention are described below. The schematic diagram is shown in drawing 3 . An electrical-potential-difference actuation mold spin switch has fundamentally the structure which installed the electrode (34) for impressing foreign voltage to both \*\*\*\*\* in three layer membranes which have three layer systems (31, 32, and 33 in drawing 3 ) which consist of "a ferromagnetic layer / a non-magnetic metal layer / a ferromagnetic layer." The electrode may be installed on the ferromagnetic stratification plane in the shape of a thin film.

[0022] Moreover, from the object to which fix magnetization of one ferromagnetic layer to and only magnetization of the ferromagnetic layer of another side is made to switch, antiferromagnetism layers, such as FeMn or NiO, may be made to adjoin one ferromagnetic layer, and pinning of the magnetization of this ferromagnetic layer may be carried out. This uses for the antiferromagnetic substance that there is an operation which carries out pinning of the magnetization of the adjoining ferromagnetic layer strongly. In this case, although the basic structure of an electrical-potential-difference actuation mold spin switch consists of four layer systems of "a ferromagnetic layer / non-magnetic metal layer / ferromagnetic layer / antiferromagnetism layer", the basic actuation as a spin switch is not different from the above-mentioned 3 layer-system spin switch at all. However, when the antiferromagnetic substance is an insulator, the wiring treatment to which a terminal is connected to a ferromagnetic layer [ directly under ] is required.

[0023] Next, the requirements for each class which constitutes such an electrical-potential-difference actuation mold spin switch are described. First, although it is desirable to consist of iron, nickel, or cobalt although it is a ferromagnetic layer, you may be those combination or those electrical conductivity ferromagnetism metals that consist of a kind at least. Moreover, the switch effectiveness can be improved by using the quality of a magnetic matter with whenever [ polarization / of internal conduction electron / big ] for a ferromagnetic layer so that it may mention later. Reaching to 80% is known and whenever [ polarization / of conduction electron ] may constitute a ferromagnetic layer from EuO which is a magnetic semiconductor by such magnetic semiconductor. At least 5A or more 1000A or less of thickness of a ferromagnetic layer needs to be 5A or more 100A or less desirably. Ferromagnetism will destabilize in less than 5A. Moreover, if 1000A is exceeded, a spin switch phenomenon will not be discovered good. Next, although it is desirable to consist of copper, silver, gold, or those electrical conductivity non-magnetic metal that consists of a kind at least although it is a non-magnetic layer, you may be nonmagnetic transition metals with the electrical conductivity of molybdenum, chromium, etc. 5A or more 1500A or less of thickness of a non-magnetic layer needs to be 5A or more 300A or less preferably. In less than 5A, magnetization of these both layers is strongly combined with parallel for the strong exchange interaction between ferromagnetic layers, and this effectiveness does not show up. Moreover, if 1500A is exceeded, in order to exceed spin diffusion length, the good switch effectiveness will not show up.

[0024] First, the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this operation gestalt can produce the three above-mentioned layer membranes by the dry type producing-film methods, such as the usual spatter, MBE vacuum deposition, or the laser ablation method, and can produce them by giving the structure of a request by the approaches (for example, JP,7-45430,A, JP,7-12449,A, etc.) of being well-known, such as a lift off or dry etching, to after an appropriate time. Moreover, three layer membranes may be produced by the wet producing-film method of \*\*, such as electrolytic plating.

[0025] In the GMR memory ( drawing 1 ) stated by the term of a Prior art, it becomes possible by impressing an electrical potential difference to control a record condition by replacing three layer membranes which are parts for a record attaching part with the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention. That is, while the technical magnetization actuation by the induction magnetic field becomes unnecessary and altitude integration of memory becomes easy, the dependability of component actuation can be improved.

[0026] The concrete application of such memory which used the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention for drawing 4 is shown. Theoretically, the capacitor part of the conventional DRAM (Dynamic Random Access Memory) was transposed to the electrical-potential-difference actuation mold spin switch, and the structure which gave the electric wiring further for the content reading of record (column line 2: 43 in drawing 4 ) is taken. Moreover, the thickness of the non-magnetic layer in 3 layer membranes shall be designed so that the magnetization array of this both ferromagnetism layer may change to anti-parallel after electrical-potential-difference impression.

[0027] In order to write in record, a magnetic field big enough is impressed to the whole component first

beforehand, and the magnetization array of all the three-layer membranogen children in a component is carried out to parallel. Next, an electrical potential difference is impressed to the column line 1 (41 in drawing 4), an access transistor (44) is turned ON and an electrical potential difference is impressed to a sense line (42). It means that only three desired layer membranes are magnetized by anti-parallel, and record was written in by this.

[0028] On the other hand, in order to read record, it carries out by turning OFF an access transistor (44), passing the feeble current for record reading on the column line 2 (43), and reading the output voltage value of three layer membranes. That is, the GMR effectiveness that the electric resistance of three layer membranes changes depending on the relative array of magnetization of this both ferromagnetism layer can be used, and the content of record can be distinguished by the size of the output voltage obtained through the column line 2 (43).

Although such memory can be used as memory which can be written in only at once, it should just impress the external magnetic field which exceeds the coercive force of a ferromagnetic layer for package elimination of the content of record to the whole memory. Although dielectric breakdown by the repeat of a write-in process has been a problem in a semi-conductor flash memory or semiconductor memory like EEPROM at the same time it is necessary to impress high tension to a component for writing, there is such no problem by this magnetic solid-state memory adapting an electrical-potential-difference actuation mold spin switch. Therefore, the writing of record has theoretically the advantage in which an infinity time is possible.

[0029] Moreover, as an example of other application possibility, the ultra high-speed electric field effect mold spin transistor proposed by Datta and others will be mentioned (Appl.Phys.Lett., 56(1990) p.665). The schematic diagram is shown in drawing 5. Although this device is a ultra high-speed field effect transistor which uses fundamentally the big electronic mobility of the two dimensional electron gas which occurs in a semi-conductor heterojunction interface, it is a new device which the point which constitutes the source (51) and a drain (52) terminal from a ferromagnetic differs from the conventional FET device, and makes controllable the current which flows a component also by changing the magnetization array of a ferromagnetic.

[0030] However, as an external magnetic field must be too impressed in order to control the direction of magnetization of a ferromagnetic terminal by this device, and the Prior art was described, alternative and exact control of magnetization in the minute device by which advanced integration was carried out is very difficult. On the other hand, if the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention is used for the ferromagnetic terminal 51 or 52, it is not necessary to take into consideration the space convergency of a magnetic field, malfunction of a contiguity component, etc. to which it became possible to which to control a magnetization condition by foreign voltage impression, and it had become a problem by magnetic field impression.

[0031] I want to touch a word about the freshness of this invention here. Although the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention bears apparently a close resemblance [ spin transistor / (drawing 2) / using the spin polarization current generated in a non-magnetic layer by the ferromagnetic layer ], as for this invention aiming at control of the magnetization condition by foreign voltage, the contents differ clearly for the purpose of the transistor effectiveness generating this invention according to the relative array of magnetization of a ferromagnetic layer. moreover, as a new controlling method of the magnetization condition of the ferromagnetic multilayer by approaches other than external magnetic field impression the paper which suggests possibility that it is realizable by passing pulse current to the perpendicular direction of a multilayer side is announced by Slonczewski in recent years -- \*\*\*\* (J. C.Slonczewski, J.Mag.Mag.Mat.159 (1996) p.L1) -- Then, the approach described uses preservation of the angular momentum between the spin of the electron which constitutes pulse current, and the magnetic moment of a ferromagnetic layer, and differs from the principle of operation of the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention clearly.

[0032] That is, the electrical-potential-difference actuation mold spin switch which artificers propose is the unprecedented magnetization control approach of a multilayer based on a completely new principle.

[0033] Next, the principle of operation of an electrical-potential-difference actuation mold spin switch is described. In the ferromagnetic multilayer which generally carried out the laminating of a ferromagnetic layer and the non-magnetic layer by turns If thickness of a non-magnetic layer is made thin in a number - about 10A of numbers, the switched connection force will work through a non-magnetic layer between the adjoining ferromagnetic layers. And it is known that the sign will vibrate depending on the thickness of a non-magnetic

layer, namely, the phenomenon which magnetization of both layers combines with parallel or anti-parallel will appear (for example, S.S.P.Parkin et al., Phys.Rev.Lett., 64(1990) p.2304).

[0034] Although explained by the RKKY exchange interaction in effectiveness or a multilayer interface etc. in the slight quantum well closing depth of the electron which originates in multilayer structure about the physical mechanism, it is pointed out that both give a theoretical almost equivalent result. The switch effectiveness of this invention is deeply involved with an above-mentioned oscillating phenomenon, and the mechanism may be explained by both of the two above-mentioned theory.

[0035] Here, from a viewpoint based on a RKKY exchange interaction, Co/Cu/Co 3 layer membrane is taken up for an example, and it explains below.

[0036] According to this theory, the oscillation period of the switched connection between layers mentioned above is determined from the geometric structure of the Fermi surface of Cu layer, and although the oscillation period gives extremal value in the wave number vector which stretches a Fermi surface, when setting magnitude to  $k$ , it is given by  $\pi/k$ . The schematic diagram of the Fermi surface structure of the bulk Cu at the time of no electrical-potential-difference impressing was shown in drawing 6 (a).  $k_b$  which shows an extremal-value wave number vector in drawing 6 (a) in the case of three described layer membranes which carry out an outline, and which were made to carry out epitaxial growth in the direction of a field for example (111) when becoming although the exact information about the Fermi surface structure of Cu layer is required in order to determine the oscillation period of both spin as accuracy it is -- the oscillation period calculated from now on is 9.4A. This is comparatively well in agreement with 10.4A of an experimental value.

[0037] Here, when an electrical potential difference is impressed to a spin switch, the downward (Majority spin and parallel) spin polarization electronic group in a ferromagnetic layer is injected into a non-magnetic layer. Within a non-magnetic layer, originally, a spin polarization condition cannot exist in equilibrium and the polarization relaxation which is going to return polarization to zero takes place to the electronic group which was poured in for this reason. However, since the time amount of spin relaxation time amount extent is taken in order to ease spin polarization, the conduction condition [ \*\*\*\* / un- ] in which polarization remained in the non-magnetic layer as a result occurs. That is, within Cu layer, in order that the number of downward spin electrons may increase, the Fermi level of a downward spin band increases, and in order that the number of upward (Minority spin) spin electrons may decrease conversely, the Fermi level of a upward spin band will decrease (for example, Magnetics Society of Japan vol. 19 (1995) p.684). The electron distribution in such a case does not balance, and in strict semantics, Fermi surface structure [ \*\*\*\* ] does not exist and cannot ask for the above extremal-value wave number vectors. However, with nonmagnetic electrical conductivity metals, such as Cu, generally, spin relaxation time amount is very long as compared with the relaxation times, such as momentum and energy, and it is possible to regard it as what forms Fermi surface structure [ \*\*\*\* / almost ] by limiting to the range in which the thickness of a non-magnetic layer does not exceed spin diffusion length or it for this reason.

[0038] Therefore, as an extremal-value wave number vector is shown in drawing 6 (b), ( $k_b$  down of drawing 6 (b) Naka) becomes small about downward spin, and it becomes large ( $k_b$  up) about upward spin. This drawing 6 (b) shows the Fermi surface structure of the copper after electrical-potential-difference impression, a continuous line is downward spin and an alternate long and short dash line points out the Fermi surface of upward spin here. A broken line is a Fermi surface at the time of no electrical-potential-difference impressing, and is the same as drawing 6 (a). For this reason, each spin polarization vibrates a different period, respectively, and the oscillation observed experimentally serves as the sum of these the oscillations of each. Thus, an electrical-potential-difference actuation mold spin switch applies the phenomenon in which the oscillation of the switched connection between both the ferromagnetism layers in 3 layer membranes changes depending on the magnitude of the spin polarization [ parallel ] condition generated in Cu layer. From the oscillation-character of the switched connection between layers, by adjusting the thickness of a non-magnetic layer, the sign of an exchange interaction which works between ferromagnetic layers can also be reversed, and a magnetization condition switches magnetization of both the ferromagnetism layer to parallel or an anti-parallel array in this case. Moreover, what is necessary is for a ferromagnetic layer just to consist of magnetic conductors which can pour in a bigger spin polarization electron like EuO into Cu layer, in order to cause such a flux reversal phenomenon effectively.

[0039]



[Example] Hereafter, some concrete examples of this invention are explained to a detail.

[0040] (Example 1) About Co/Cu/Co (111) single crystal 3 layer membrane, Cu layer membrane thickness dependency of the exchange interaction between layers committed between both Co(es) layers was theoretically investigated based on the RKKY theory (for example, P.Bruno and C.Chappert, Phys.Rev.B46(1992) p.261). The result is shown in drawing 7 . In addition, in drawing 7 , whenever [ in Cu layer / spin polarization ] is changed with 0 and 10 or 20%, respectively. Drawing 7 (a) shows Cu layer membrane thickness dependency of the switched connection reinforcement between Co layers of Co/Cu/Co (111) 3 layer membrane. Each line corresponds to whenever [ spin polarization / from which it differs in Cu layer ]. Moreover, drawing 7 (b) shows a dependency whenever [ in Cu layer / spin polarization / of the switched connection reinforcement between Co layers in case Cu layer membrane thickness is 15.0Å ].

[0041] The oscillation period of switched connection is changing as whenever [ in Cu layer / spin polarization ] becomes large so that drawing 7 (a) may show. A dependency is shown in drawing 7 (b) especially about the case where the thickness of Cu layer is 15Å, whenever [ in Cu layer / spin polarization / of the exchange interaction between layers ]. It is changing to negative (namely, parallel association) because that whose switched connection strength was forward (namely, anti-parallel association) increases whenever [ spin polarization ] to 20% 0% at o'clock. By making whenever [ in Cu layer / spin polarization ] increase by foreign voltage impression, this shows that the magnetization condition of Co layer can be changed from anti-parallel to a parallel array.

[0042] (Example 2) By the same technique as an example 1, the dependency was investigated about Co/Cu/Co (100) single crystal 3 layer membrane whenever [ in Cu layer / spin polarization / of the exchange interaction between layers at the time of making thickness of Cu layer into 12.6Å ]. The result is shown in drawing 8 . The dependency was shown in drawing 8 whenever [ in Cu layer / spin polarization / of the switched connection reinforcement between Co layers of Co/Cu/Co (100) 3 layer membrane ]. However, the thickness of Cu layer is 12.6Å.

[0043] It turns out that the switched connection which was zero mostly is changing to forward, i.e., anti-parallel association, as whenever [ spin polarization ] increases from zero to 20%. By using this 3 layer membrane, the magnetic solid-state memory stated by the term of the gestalt of operation is realizable. That is, about the memory produced with the configuration shown in drawing 4 , a magnetic field big enough is beforehand impressed to memory, and the magnetization array of all 3 layer membranes in memory (a component is called below) is carried out to parallel. It means that all components were recorded on "0" conditions at this time. After an appropriate time, by applying a predetermined electrical potential difference to the column line 1 and the column line 2, magnetization of a desired component is changed to anti-parallel, and "1" condition is recorded. Thus, although it is reading of the content of the recorded memory, if a feeble current is passed on the column line 2, output voltage with the bigger component of "1" condition than the component of "0" conditions will be measured by the giant magneto-resistance of a component. The content of record can be read by distinguishing this difference.

[0044]

[Effect of the Invention] By electrical-potential-difference impression, the electrical-potential-difference actuation mold spin switch of this invention is a new technical magnetization control device which realizes flux reversal directly, and can give a big contribution to integration of a device or a miniaturization.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

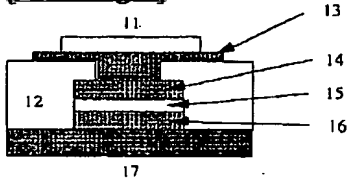
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

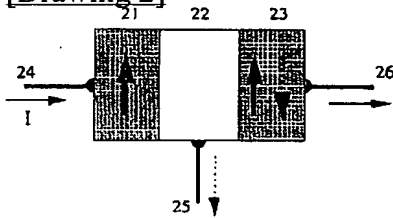
DRAWINGS

---

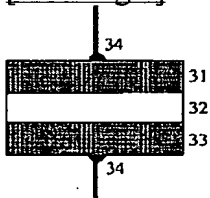
[Drawing 1]



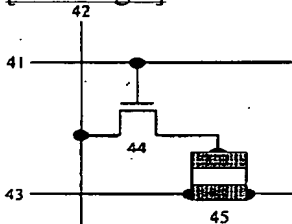
[Drawing 2]



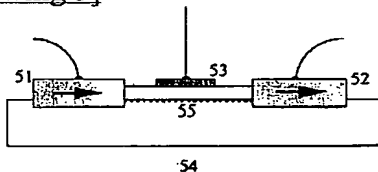
[Drawing 3]



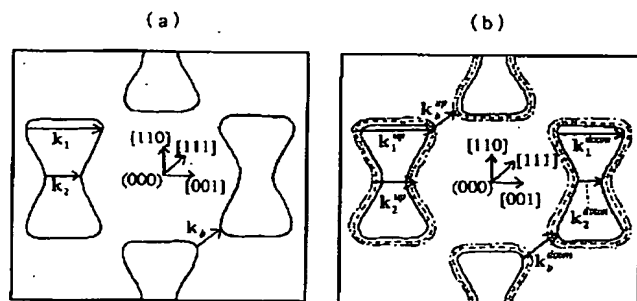
[Drawing 4]



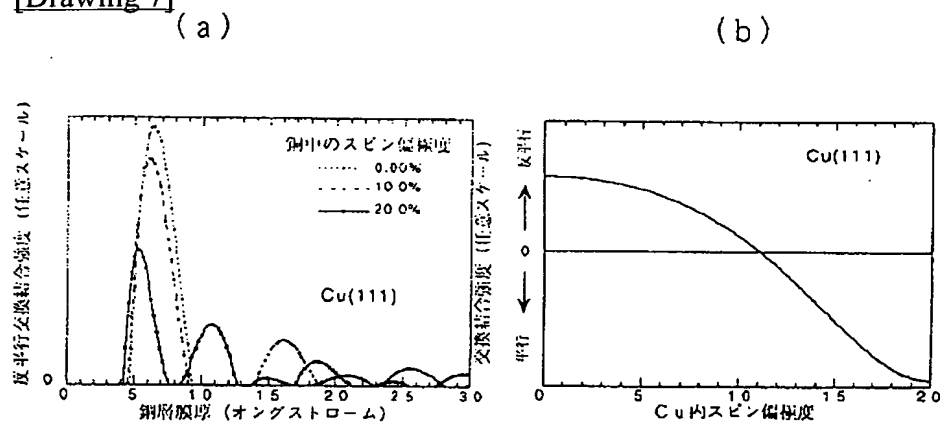
[Drawing 5]



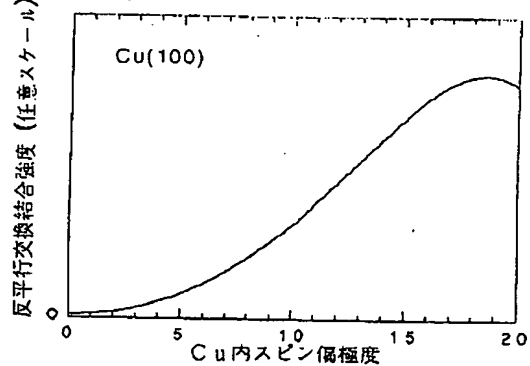
[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-284765

(43) 公開日 平成10年(1998)10月23日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 43/00

H 0 1 L 43/00

H 0 1 F 10/14

H 0 1 F 10/14

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平9-102745

(22) 出願日

平成9年(1997)4月4日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 藤本 辰雄

川崎市中原区井田3丁目35番1号 新日本

製鐵株式会社技術開発本部内

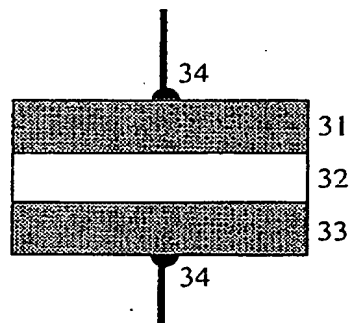
(74) 代理人 弁理士 國分 孝悦

(54) 【発明の名称】 電圧駆動型スピンスイッチ

(57) 【要約】

【課題】 多層膜の技術磁化操作を膜厚方向に電圧を印加することによって制御する、従来に無い新しい原理に基づく電圧駆動型スピンスイッチを提供する。

【解決手段】 強磁性層31／非磁性金属層32／強磁性層33からなる三層構造を有する三層膜と、両強磁性層31、33に外部電圧を印加するための電極34を設置して電圧駆動型スピンスイッチを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 強磁性層、非磁性金属層、強磁性層からなる三層構造を有し、

双方の前記強磁性層に電圧を印加するための電極部を設けたことを特徴とする電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項2】 非磁性層の膜厚が5～1500オングストロームであり、強磁性層の膜厚が5～1000オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項3】 非磁性層の膜厚が5～300オングストロームであり、強磁性層の膜厚が5～100オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項4】 非磁性層の膜厚が300～1500オングストロームであり、強磁性層の膜厚が100～1000オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項5】 強磁性層膜が、鉄、コバルト、ニッケル、あるいはそれらの少なくとも一種からなる強磁性金属で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀、あるいはそれらの少なくとも一種からなる非磁性金属で構成されたことを特徴とする請求項2、3及び4のいずれか1項に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項6】 強磁性層膜が、強磁性層膜が主としてEuOで表記される磁性半導体で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀、あるいはそれらの少なくとも一種からなる非磁性金属で構成されたことを特徴とする請求項2～4のいずれか1項に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項7】 強磁性層膜が、鉄、コバルト、ニッケル、あるいはそれらの少なくとも一種からなる強磁性金属で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀以外の非磁性遷移金属の、少なくとも一種から構成される電気伝導性金属からなることを特徴とする請求項2～4のいずれか1項に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項8】 強磁性層、非磁性金属層、強磁性層、および反強磁性層の4層構造を有し、双方の前記強磁性層に電圧を印加するための電極部を設けたことを特徴とする電圧駆動型スピンスイッチ。

【請求項9】 反強磁性層膜がFeMnあるいはNiOのいずれかからなることを特徴とする請求項8に記載の電圧駆動型スピンスイッチ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、強磁性金属に特有な磁気伝導現象を応用して、外部磁場印加によらずに膜厚方向に電圧を印加することによって強磁性多層膜中の磁化配列を直接的に制御する、電圧駆動型スピンスイッチに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】1989年、フランスのBaibich

らによって強磁性金属層が非磁性金属層によって隔てられた構造を有する金属強磁性多層膜において巨大磁気抵抗効果（以下、GMR効果と略記する）が発見された。GMR効果とは、隣接する強磁性層の磁化の相対的な配列を外部磁場の印加などによって反平行から平行配列に強制的に変化させた場合、金属強磁性多層膜の電気抵抗が著しく減少する現象をいう。その変化率は、多層膜の構造および膜構成金属元素の種類によっては、従来材であるパーマロイ（FeNi系合金）の特性を一桁以上も上回ることが報告されている。GMR効果を応用することにより、磁場の微弱な変化を電圧出力として高感度で検出できるため、その発見以来様々な用途に供されており、近年では次世代の磁気ディスクドライブ（HDD）用の磁気ヘッド材として実用化されつつあることは周知の事実である。GMR効果の物理的メカニズムの詳細については、未だ学会においても議論の途上であり、完全に解明されるに至っていない。現時点においては、電気伝導が伝導電子のスピン方向に依存するという、強磁性金属特有の伝導特性が密接に絡んだ現象として定性的に理解されている。

【0003】磁気ヘッド等の各種磁場センサーへの応用以外にも、GMR効果、あるいはその発生原因と考えられているスピン依存電気伝導特性を利用して各種の磁性固体デバイスを実現しようとする試みが近年活発に行われている。その代表例として、GMRメモリー（特開平6-243673号公報）や、スピントランジスター（例えば、日本応用磁気学会誌vol. 19（1995）p. 684）などがあげられる。その概略について以下に簡単に説明する。

【0004】先ず、前者のGMRメモリーについて、図1に入江らによって提案されているメモリーの概略図を示す（Jpn. J. Appl. Phys., 24（1995）p. L415）。記録保持部分は基本的には「強磁性層／非磁性層／強磁性層」の三層構造膜（図1中の14、15、及び16）により構成され、両強磁性層には保磁力が異なる異種の強磁性金属が使用されている。先ず情報の書き込み方法であるが、ワードライン11に、両強磁性層の保磁力を越える大きさの誘導磁場を発生しうる電流を流すことによって行われる。具体的には、図1の場合、紙面に対して垂直上向き、あるいは下向きに電流を流し、ワードラインの周囲に発生する環状の誘導磁場を利用して、高保磁力層の磁化を右向きあるいは左向きに磁化することで行われる。記録情報の内容は高保磁力層の磁化方向によって定義され、例えば右向きが「1」、左向きが「0」となる。一方、記録情報の読み出しには、GMR効果が利用される。すなわち、ワードライン（11）に交流電流を流し、かつその交流電流の最大振幅値が、高保磁力強磁性層の保磁力には及ばないが低保磁力強磁性層の保磁力を越える誘導磁場が発生するようにする。この場合、低保磁力層の磁化のみが

誘導磁場に追従して反転するため、記録内容、すなわち高保磁力層の磁化方向によって位相が180度異なる出力電圧が、別途に設けられたセンスライン12を通して得られる。記録内容はこの出力電圧の位相差によって判別される。

【0005】次に、図2に、M. Johnsonによって提案されているスピントランジスタについて、その概略図を示す(Science, 260(1993) p. 320)。前述のGMRメモリと同様に、基本構造は「強磁性層/非磁性層/強磁性層」の三層膜となっており(図2中の21、22、および23)、各層には別個に配線端子が繋がれており半導体バイポーラートランジスタと同様な配線構造を取っている。一般的に、強磁性体内部では伝導電子は、物質によって程度は異なるものの、そのスピンの方向が特定方向に揃っていることが知られている。このような現象はスピン偏極と呼ばれ、例えば鉄の場合では、スピン偏極度は約44%に達し、その偏極の方向はMajorityスピンと平行であることが実験的に明らかにされている(P. M. Tedrowら、Physical Review B7(1973) p. 7099)。

【0006】いま、三層膜の膜厚方向に沿って電圧を印加すると、強磁性層(エミッター; 図2中の21)内部の、スピンの方向がほぼ揃った電子群が非磁性層(ベース; 22)内へ侵入してくる。すなわち、スピン偏極電流がエミッターよりベースへと注入されることになる。ここで他方の強磁性層(コレクター; 23)の磁化がエミッターの磁化と平行な場合には、スピン偏極電流はコレクターへ侵入することが可能であり、従って電流は三層膜中をエミッターからコレクター(24→26)へと通過する。しかしながら、反平行に配列する場合には電子はコレクターへ侵入することが困難になり、このため電流はベース端子へ流れ出る(24→25)。すなわち磁化の相対的な配列を変化させることによって電流の方向が変化する、いわゆるトランジスタ効果が発現する。素子がすべて金属で構成されている本トランジスタは、電子密度が半導体に比べ4桁程高いことや熱伝導率が高いこと等々の金属特有のメリットを利用できることから、既存半導体デバイスよりも高度に集積化できる可能性が指摘されており、スピントランジスタが大きく期待される要因の一つとなっている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】以上の各種磁性固体デバイスにおいては、隣接する強磁性層の磁化配列を、例えば反平行から平行配列へと変化させる、いわゆる技術磁化操作がデバイス動作の基本要素となっていることは明らかである。ところで電子機器の高性能化や小型化に伴いこれらのデバイスも微小化、集積化する必要がある。そのような場合には当然のことながら、磁性固体デバイスを構成する多層膜本体も微細加工され、例えばサ

ブミクロンサイズ程度に微細化された多数の微小な多層膜が単一デバイスの中に整然と並べられることになり、デバイス中の特定の微小多層膜の磁化状態を選択的にかつ正確に制御する方法を確立する必要性が生じる。

【0008】従来では、基本的に技術磁化操作は外部磁場を印加することによって行われていた。例えば、前述のGMRメモリの場合では、デバイス内に縦横に張り巡らされたワードラインに所定の電流を流し、その周囲に発生する誘導磁場を利用することで多層膜の磁化状態を制御していた。しかしながら、磁場は元来、空間発散性が強いために微小空間中に精度よく収束させることは一般に困難であり、隣接する微小多層膜の磁化状態を変化させてしまうなど、デバイスの誤動作を招く可能性がある。このような問題はスピントランジスタの場合についても当てはまる。すなわち、トランジスタ効果を誘起させるためには、素子に強磁性層の磁化状態を変化させる必要があるが、微細化された素子内の微小スピントランジスタを外部磁場の印加によって選択的に制御することは、前記と同様、極めて困難である。すなわち磁性固体デバイスにおいては、外部磁場印加による磁化制御には、デバイスの集積化を実現する上では限界がある。

【0009】従って、磁性固体デバイスの高度集積化をデバイスの信頼性を損なわずに実現するために、多層膜の技術磁化を操作する、外部磁場印加によらない、新しい方法が望まれていた。

【0010】本発明は上記従来例中に記載された問題点を克服することを鑑み為されたものであり、多層膜の技術磁化操作を膜厚方向に電圧を印加することによって制御する、従来に無い新しい原理に基づく電圧駆動型スピンスイッチを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の電圧駆動型スピンスイッチは、強磁性層、非磁性金属層、強磁性層からなる三層構造を有し、該両強磁性層に電圧を印加するための電極部が設けられて構成されている。なお、前記電極部の構造は特定されず、例えば薄膜形状であってもよい。

【0012】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、非磁性層の膜厚が5～1500オングストロームであり、強磁性層の膜厚が5～1000オングストロームである。

【0013】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、非磁性層の膜厚が5～300オングストロームであり、強磁性層の膜厚が5～100オングストロームである。

【0014】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、非磁性層の膜厚が300～1500オングストロームであり、強磁性層の膜厚が100～1000オングストロームである。

【0015】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、強磁性層膜が、鉄、コバルト、ニッケル、あるいはそれらの少なくとも一種からなる強磁性金属で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀、あるいはそれらの少なくとも一種からなる非磁性金属で構成されている。

【0016】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、強磁性層膜が、強磁性層膜が主としてEuOで表記される磁性半導体で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀、あるいはそれらの少なくとも一種からなる非磁性金属で構成されている。

【0017】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、強磁性層膜が、鉄、コバルト、ニッケル、あるいはそれらの少なくとも一種からなる強磁性金属で構成され、非磁性層膜が銅、金、銀以外の非磁性遷移金属の、少なくとも一種から構成される電気伝導性金属からなる。

【0018】本発明の電圧駆動型スピンスイッチは、強磁性層、非磁性金属層、強磁性層、および反強磁性層の4層構造を有し、双方の前記強磁性層に電圧を印加するための電極部が設けられて構成されている。

【0019】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの一態様においては、反強磁性層膜がFeMnあるいはNiOのいずれかからなる。

【0020】本発明者らは、上述の多層構造膜において、該両強磁性層間に所定の外部電圧を印加することによって、両強磁性層間に働く層間交換結合の強さを制御できることを見いだした。特に、非磁性層の膜厚を調整することにより、層間交換結合の符号が逆転し、三層膜の磁化状態が電圧印加前後で反転する、すなわち平行配列から反平行配列、あるいはその逆の変化が実現できる。このように、電圧印加等々の外部作用によって、多層膜中の相対的な磁化配列が変化する素子を一般にスピンスイッチと呼ぶが、ここでは該両強磁性層間に働く層間交換結合の強さが変化することも含めて、スピンスイッチを広義に定義することにする。従来では多層膜においては、主として外部磁場の印加によって磁化反転を実現していたが、本発明により外部電圧の印加によって駆動する、全く新しい電圧駆動型スピンスイッチが実現された。このようなスピンスイッチを使用することにより、各種磁性固体デバイス、あるいは強磁性体を用いる各種デバイスにおいて、磁性体の磁化状態を制御するための外部磁場印加を行う必要がなくなり、デバイス動作の信頼性を損なうことなく高度に集積化を実現することが可能になる。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの構成要件について以下に述べる。図3に、その概略図を示す。電圧駆動型スピンスイッチは、基本的には「強磁性層／非磁性金属層／強磁性層」からなる三層構造

(図3中の31、32、および33)を有する三層膜において、両強磁性層に外部電圧を印加するための電極(34)を設置した構造を持つ。電極は薄膜状に強磁性層面上に設置されていてもよい。

【0022】また、一方の強磁性層の磁化を固定して他方の強磁性層の磁化のみをスイッチさせる目的から、一方の強磁性層にFeMnあるいはNiO等の反強磁性層を隣接させ、該強磁性層の磁化をピン止めしてもよい。これは、反強磁性体には、隣接する強磁性層の磁化を強くピン止める作用があることを利用するものである。この場合、電圧駆動型スピンスイッチの基本構造は「強磁性層／非磁性金属層／強磁性層／反強磁性層」の四層構造からなるが、スピンスイッチとしての基本動作は前述の三層構造スピンスイッチと何等変わらない。ただし反強磁性体が絶縁体の場合には端子を直下の強磁性層に接続させる配線処置が必要である。

【0023】次に、このような電圧駆動型スピンスイッチを構成する各層の要件について述べる。まず、強磁性層であるが、鉄、ニッケル、あるいはコバルトからなることが望ましいが、それらの組み合わせ、あるいはそれらの少なくとも一種からなる電気伝導性強磁性金属であってもよい。また、後述するように、内部の伝導電子の偏極度が大きな磁性物質を強磁性層に用いることにより、スイッチ効果を向上することができる。磁性半導体であるEuOでは伝導電子の偏極度は80%に及ぶことが知られており、このような磁性半導体で強磁性層を構成してもよい。強磁性層の厚さは少なくとも5オングストローム以上1000オングストローム以下、望ましくは5オングストローム以上100オングストローム以下である必要がある。5オングストローム未満では強磁性が不安定化してしまう。また1000オングストロームを越えるとスピンスイッチ現象が良好に発現しない。次に非磁性層であるが、銅、銀または金、あるいはそれらの少なくとも一種からなる電気伝導性非磁性金属から構成されることが望ましいが、モリブデンやクロムなどの電気伝導性を持つ非磁性遷移金属であってもよい。非磁性層の厚さは5オングストローム以上1500オングストローム以下、好ましくは5オングストローム以上300オングストローム以下である必要がある。5オングストローム未満では強磁性層間の強い交換相互作用のために該両層の磁化は強く平行に結合し、本効果が現れない。また1500オングストロームを越えると、スピン拡散長を越えてしまうために良好なスイッチ効果が現れない。

【0024】本実施形態の電圧駆動型スピンスイッチは、まず、通常のスパッタ法、MBE蒸着法、あるいはレーザーアブレーション法などの乾式製膜法によって前述の三層膜を作製し、しかる後にリフトオフ、あるいは乾式エッチング等のような公知となっている方法(例えば特開平7-45430や特開平7-12449等)に

よって所望の構造を付与することにより作製することができる。また、三層膜は電解メッキ等々の湿式製膜法によって作製してもよい。

【0025】従来の技術の項で述べたGMRメモリー（図1）において、記録保持部分である三層膜を本発明の電圧駆動型スピンスイッチで置き換えることにより、電圧を印加することによって記録状態を制御することが可能になる。すなわち、誘導磁場による技術磁化操作が不要になり、メモリーの高度集積化が容易になると同時に素子動作の信頼性を向上することができる。

【0026】図4に、本発明の電圧駆動型スピンスイッチを用いたそのようなメモリーの具体的応用例を示す。原理的には、従来のDRAM（Dynamic Random Access Memory）のキャパシター部分を電圧駆動型スピンスイッチに置き換え、さらに記録内容読み取り用の電気配線（コラムライン2：図4中の43）を付与した構造をとっている。また、三層膜中の非磁性層の膜厚は、該両強磁性層の磁化配列が電圧印加後に反平行に変化するように設計しておくものとする。

【0027】記録の書き込みを行うには、まず、予め素子全体に十分に大きな磁場を印加し、素子中の全ての三層膜素子の磁化配列を平行にしておく。次にコラムライン1（図4中の41）に電圧を印加してアクセストランジスター（44）をオンにし、センスライン（42）に電圧を印加する。これにより、所望の三層膜のみが反平行に磁化され、記録が書き込まれたことになる。

【0028】一方、記録の読み取りを行うには、アクセストランジスター（44）をオフにし、コラムライン2（43）に記録読み取り用の微弱電流を流して三層膜の出力電圧値を読み取ることにより行う。すなわち、該両強磁性層の磁化の相対的配列に依存して三層膜の電気抵抗が変化するGMR効果を利用し、コラムライン2（43）を通して得られる出力電圧の大小によって記録内容を区別することができる。このようなメモリーは、一度だけ書き込み可能なメモリーとして使用できるが、記録内容の一括消去には強磁性層の保磁力を越える外部磁場をメモリー全体に印加するだけでよい。半導体フラッシュメモリーやEEPROMのような半導体メモリーでは、書き込みのためには素子に高電圧を印加する必要があると同時に、書き込みプロセスの繰り返しによる絶縁破壊が問題になっているが、電圧駆動型スピンスイッチを応用した本磁性固体メモリーではそのような問題はない。従って、記録の書き込みは原理的には無限回可能であるという長所を持つ。

【0029】また他の応用可能性の例として、Dattaらによって提案されている超高速電界効果型スピントランジスターが挙げられよう（Appl. Phys. Lett., 56（1990）p. 665）。その概略図を図5に示す。本デバイスは、基本的には半導体ヘテロ接合界面に発生する二次元電子ガスの大きな電子移動度

を利用する超高速電界効果型トランジスターであるが、ソース（51）およびドレイン（52）端子を強磁性体で構成している点が従来のFETデバイスと異なっており、素子を流れる電流を強磁性体の磁化配列を変化させることによって制御可能にする、新しいデバイスである。

【0030】しかしながら、本デバイスでは強磁性端子の磁化の方向を制御するためにはやはり外部磁場を印加しなくてはならず、従来の技術において述べたように、高度集積化された微小デバイス中での磁化の選択的かつ正確な制御は極めて困難である。これに対し、本発明の電圧駆動型スピンスイッチを強磁性端子51あるいは52に用いれば、外部電圧印加によって磁化状態を制御することが可能になり、磁場印加で問題になっていた磁場の空間収束性や隣接素子の誤動作等を考慮する必要がない。

【0031】ここで、本発明の新規性について一言触れておきたい。本発明の電圧駆動型スピンスイッチは、強磁性層によって非磁性層中に生成するスピン偏極電流を利用するスピントランジスター（図2）と一見類似するものであるが、該発明は強磁性層の磁化の相対的な配列によってトランジスター効果が発生することを主眼とするものであって、外部電圧による磁化状態の制御を目的とする本発明とはその内容が明らかに異なるものである。また、外部磁場印加以外の方法による強磁性多層膜の磁化状態の新制御法として、多層膜面の垂直方向にパルス電流を流すことにより実現できる可能性を示唆する論文がSlonczewskiによって近年発表されている（J. C. Slonczewski, J. Mag. Mat. 159（1996）p. L1）が、そこで述べられている方法は、パルス電流を構成する電子のスピンと強磁性層の磁気モーメントの間の角運動量の保存を利用するものであり、明らかに本発明の電圧駆動型スピンスイッチの動作原理とは異なるものである。

【0032】すなわち、発明者らの提案する電圧駆動型スピンスイッチはこれまでにない、全く新しい原理に基づく、多層膜の磁化制御方法である。

【0033】次に、電圧駆動型スピンスイッチの動作原理について述べる。一般的に、強磁性層と非磁性層を交互に積層した強磁性多層膜においては、非磁性層の膜厚を数〜数十オングストローム程度に薄くすると、隣接する強磁性層間に非磁性層を介して交換結合力が働き、かつその符号が非磁性層の膜厚に依存して振動する、すなわち両層の磁化が平行、あるいは反平行に結合する現象が現れることが知られている（例えば、S. S. P. Parkinら, Phys. Rev. Lett., 64（1990）p. 2304）。

【0034】その物理メカニズムについては多層膜構造に起因する電子の量子井戸閉じこめ効果、あるいは多層



膜界面でのRKKY交換相互作用等によって説明されているが、どちらも理論的にはほぼ同等の結果を与えることが指摘されている。本発明のスイッチ効果は上述の振動現象と深く絡むものであり、そのメカニズムは上記の二理論のどちらでも説明され得る。

【0035】ここではRKKY交換相互作用に基づく観点から、Co/Cu/Co三層膜を例に取り上げ、以下に説明する。

【0036】前述した層間交換結合の振動周期は、該理論によればCu層のフェルミ面の幾何学的構造から決定され、その振動周期はフェルミ面を張る波数ベクトルの中で極値を与えるものの大きさを $k$ とする場合に、 $\pi/k$ で与えられる。図6(a)に電圧無印加時のバルクCuのフェルミ面構造の概略図を示した。両スピンの振動周期を正確に決定するためには、Cu層のフェルミ面構造に関する正確な知識が必要であるが、概略して述べるならば、例えば(111)面方向にエピタキシャル成長させた三層膜の場合、極値波数ベクトルは図6(a)中に示す $k_b$ であり、これから計算される振動周期は9.4オングストロームである。これは実験値の10.4オングストロームと比較的よく一致している。

【0037】ここで、スピンスイッチに電圧を印加すると、強磁性層内の下向き(Majorityスピンと平行)のスピン偏極電子群が非磁性層に注入される。非磁性層内では元来、スピン偏極状態は平衡状態では存在しえず、このため注入された電子群には偏極をゼロに戻そうとする偏極緩和が起こる。しかしながら、スピン偏極を緩和するためには、スピン緩和時間程度の時間がかかるため、結果として非磁性層内に偏極が残った非平衡な伝導状態が発生する。すなわち、Cu層内では下向きスピン電子の数が増えるために下向きスピンバンドのフェルミレベルが増加し、逆に上向き(Minorityスピン)スピン電子の数が減少するために上向きスピンバンドのフェルミレベルが減少することになる(例えば、日本応用磁気学会誌vol. 19(1995)p. 684)。このような場合の電子分布は非平衡であり、厳密な意味に於いては平衡なフェルミ面構造は存在せず、上述のような極値波数ベクトルを求めることはできない。しかしながら、Cu等の非磁性の電気伝導性金属では、一般にスピン緩和時間は、運動量やエネルギー等の緩和時間と比較すると極めて長く、このため非磁性層の膜厚がスピン拡散長か、あるいはそれを越えない範囲に限定することにより、ほぼ平衡なフェルミ面構造を形成しているものと見なすことが可能である。

【0038】従って、極値波数ベクトルは、図6(b)に示すように、下向きスピンについて(図6(b)中の $k_{b,down}$ )は小さくなり、また上向きスピンについては(同、 $k_{b,up}$ )大きくなる。この図6(b)は、電圧印加後銅のフェルミ面構造を示しており、ここで、実線は下向きスピンの、また一点鎖線は上向きスピンのフェル

ミ面を指す。破線は電圧無印加時のフェルミ面であり、図6(a)と同じものである。このため、各々のスピン偏極は、異なる周期でそれぞれ振動し、実験的に観測される振動はこれらの各振動の和となる。このように、電圧駆動型スピンスイッチは三層膜中の両強磁性層間の交換結合の振動が、Cu層中に発生する非平行スピン偏極状態の大きさに依存して変化する現象を応用するものである。層間交換結合の振動的な性格から、非磁性層の膜厚を調節することによって強磁性層間に働く交換相互作用の符号を反転させることもでき、この場合両強磁性層の磁化は平行、あるいは反平行配列へと磁化状態がスイッチする。また、このような磁化反転現象を効果的に引き起こすためには、EuOのような、より大きなスピン偏極電子をCu層中に注入できる磁性伝導体で強磁性層を構成すればよい。

【0039】

【実施例】以下、本発明のいくつかの具体的な実施例について詳細に説明する。

【0040】(実施例1) Co/Cu/Co(111)単結晶三層膜について、両Co層間に働く層間交換相互作用のCu層膜厚依存性を、RKKY理論(例えば、P. Bruno and C. Chappert, Phys. Rev. B46(1992)p. 261)に基づいて理論的に調べた。図7にその結果を示す。なお、図7ではCu層中のスピン偏極度をそれぞれ0、10、20%と変化させている。図7(a)がCo/Cu/Co(111)三層膜のCo層間交換結合強度のCu層膜厚依存性を示す。各線はCu層内の異なるスピン偏極度に対応する。また、図7(b)がCu層膜厚が15.0オングストロームの場合のCo層間交換結合強度のCu層内スピン偏極度依存性を示す。

【0041】図7(a)より判るように、Cu層中のスピン偏極度が大きくなるにつれて、交換結合の振動周期が変化している。特に、Cu層の膜厚が15オングストロームの場合について、層間交換相互作用のCu層内スピン偏極度依存性を図7(b)に示す。スピン偏極度0%時に交換結合強さが正(すなわち反平行結合)であったものが、20%に増加することで負(すなわち平行結合)に変化している。これは外部電圧印加によってCu層中のスピン偏極度を増加させることにより、Co層の磁化状態を反平行から平行配列に変化できることを示すものである。

【0042】(実施例2) 実施例1と同様な手法により、Co/Cu/Co(100)単結晶三層膜について、Cu層の膜厚を12.6オングストロームとした場合の、層間交換相互作用のCu層内スピン偏極度依存性を調べた。図8にその結果を示す。図8には、Co/Cu/Co(100)三層膜のCo層間交換結合強度のCu層内スピン偏極度依存性を示した。但し、Cu層の膜厚は12.6オングストロームである。

【0043】スピン偏極度がゼロから20%へと増加するにつれて、ほぼゼロであった交換結合が正、すなわち反平行結合に変化していることがわかる。本三層膜を使用することにより、実施の形態の項で述べた磁性固体メモリーを実現することができる。すなわち、図4に示す構成で作製したメモリーについて、予めメモリーに十分に大きな磁場を印加してメモリー中の全三層膜（以下素子と称する）の磁化配列を平行にしておく。この時、全素子は「0」状態に記録されたことになる。しかる後に、コラムライン1およびコラムライン2に所定の電圧をかけることにより、所望の素子の磁化を反平行に変化させ、「1」状態を記録する。このように記録されたメモリーの内容の読み取りであるが、コラムライン2に微弱な電流を流すと、素子の巨大磁気抵抗効果により「1」状態の素子は「0」状態の素子よりも大きな出力電圧が測定される。この差異を判別することにより記録内容を読み取ることができる。

【0044】

【発明の効果】本発明の電圧駆動型スピンスイッチは、電圧印加によって直接的に磁化反転を実現する、新しい技術磁化制御デバイスであり、デバイスの集積化、あるいは小型化に大きな寄与を与えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】GMRメモリーの概念図である。

【図2】スピントランジスターの概念図である。

【図3】本発明の電圧駆動型スピンスイッチの概念図である。

【図4】電圧駆動型スピンスイッチを用いた非破壊読み出しメモリーの基本回路図である。

【図5】スピン電界効果型トランジスターの概念図である。

【図6】本発明のスピンスイッチの動作概念を説明する

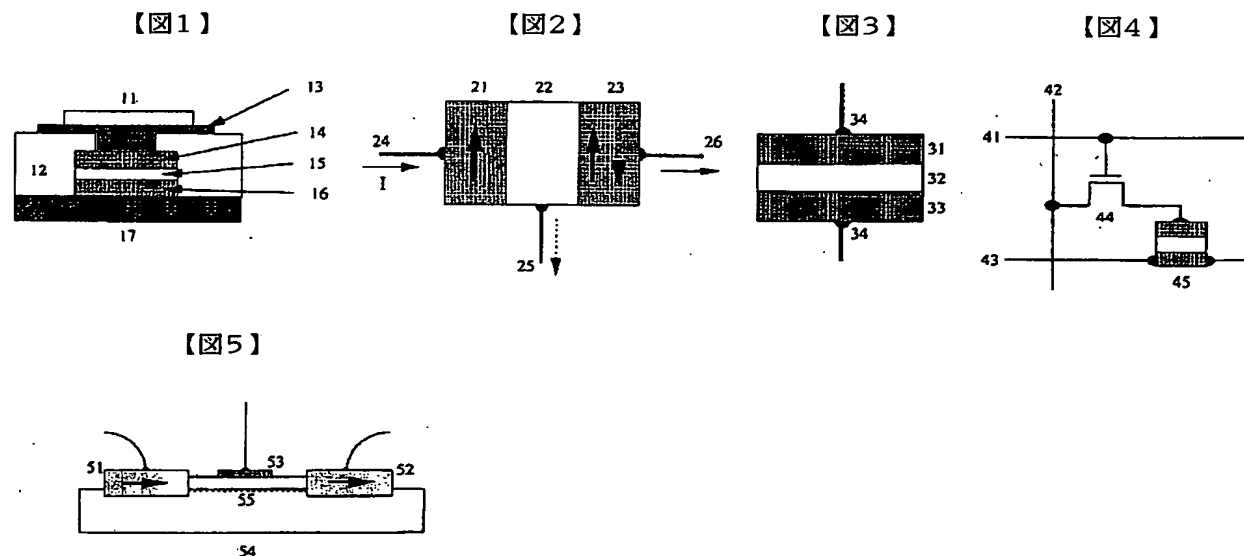
ための模式図である。

【図7】Co/Cu/Co(111)三層膜のCo層間交換結合強度のCu層膜厚依存性、及びCu層膜厚が15.0オングストロームの場合のCo層間交換結合強度のCu層内のスピン偏極度依存性を示す特性図である。

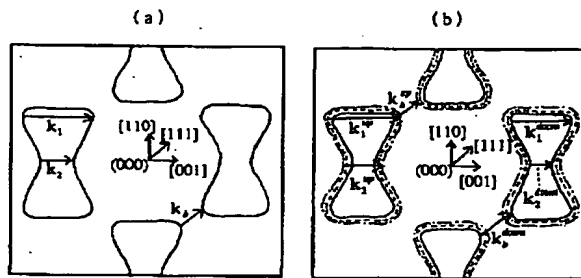
【図8】Co/Cu/Co(100)三層膜のCo層間交換結合強度のCu層内スピン偏極度依存性を示す特性図である。

【符号の説明】

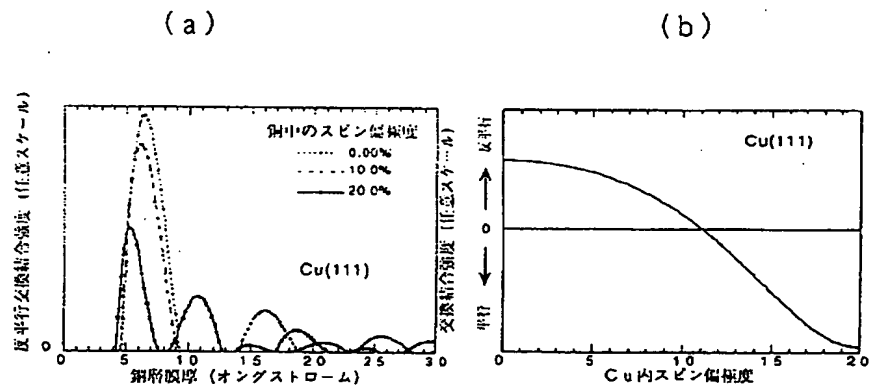
- 11 ワードライン
- 12 センスライン
- 13 絶縁層（レジスト）
- 14 強磁性層
- 15 非磁性層
- 16 強磁性層
- 17 基板
- 21 強磁性層（エミッター）
- 22 非磁性層（ベース）
- 23 強磁性層（コレクター）
- 24 エミッター端子
- 25 ベース端子
- 26 コレクター端子
- 31 強磁性層
- 32 非磁性層
- 33 強磁性層
- 34 駆動電圧入力端子
- 41 コラムライン
- 42 コラムライン
- 43 センスライン
- 44 アクセストランジスター
- 45 電圧駆動スピンスイッチ



【図6】



【図7】



【図8】

